

Aus der Abteilung für Angewandte Physiologie
(Leiter: Professor Dr. med. W. Blasius)
des Physiologischen Institutes
(Direktor: Professor Dr. med. R. Thauer)
der Justus Liebig-Universität Gießen

Über den Wert von physikalischen Kreislaufanalysen
und Q_{vm} -Bestimmungen bei abgestufter Ergometer-
Belastung zur Beurteilung der Leistungs- und
Anpassungsfähigkeit des Kreislaufes

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizinischen Fakultät
der Justus Liebig-Universität Gießen

Vorgelegt von
Kurt Busse
aus Braunschweig

Gießen 1970

Aus der Abteilung für Angewandte Physiologie
(Leiter: Professor Dr. med. W. Blasius)
des Physiologischen Institutes
(Direktor: Professor Dr. med. R. Thauer)
der Justus Liebig-Universität Gießen

Über den Wert von physikalischen Kreislaufanalysen
und Q_{vm} -Bestimmungen bei abgestufter Ergometer-
Belastung zur Beurteilung der Leistungs- und
Anpassungsfähigkeit des Kreislaufes

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizinischen Fakultät
der Justus Liebig-Universität Gießen

Vorgelegt von
Kurt Busse
aus Braunschweig

Gießen 1970



Dekan: Professor Dr. E. Habermann

Referent: Professor Dr. W. Blasius

Korreferent: Professor Dr. Dr. J. Rutenfranz

I N H A L T

	Seite
<u>A. Einleitung</u>	6
<u>B. Methodik</u>	12
I. Versuchsgut	12
II. Registrierung der Pulswellengeschwindigkeit in der Aorta und in der Art. radialis	12
III. Blutdruckmessung nach RIVA-ROCCI und von RECKLINGHAUSEN	13
IV. Quantitative Ergometrie nach BLASIUS zur Belastungsprüfung bei den durchgeführten Kreislaufuntersuchungen	13
V. Pulskurven nach verschiedenen Belastungen und ihre Güte für die Bestimmung der Kreislaufgrößen	14
VI. Bestimmung und Berechnung der Pulswellengeschwindigkeiten	18
VII. Berechnung des physikalischen Schlagvolumens nach BROEMSER und RANKE	19
VIII. Berechnung des Herzminutenvolumen-Quotienten nach BLASIUS	19
<u>C. Ergebnisse</u>	21
I. Darstellung charakteristischer Kreislaufgrößen bei Kreislauftrainierten, Wenigtrainierten und Untrainierten	21
II. Zahlenwerte aller gemessenen und errechneten Kreislaufgrößen	28
III. Statistische Auswertungen	42
a) Regressionsanalysen der verschiedenen Kreislaufgrößen	42
b) Statistisch ermittelte Zahlenwerte in Beziehung zur Belastungsgröße	43
c) Statistische Auswertungen und Signifikanzen der untersuchten Kreislaufgrößen bei den drei Gruppen von Kreislauftrainierten	50
1. Einfluß steigender Belastungen auf die Pulsfrequenz	50
2. Einfluß steigender Belastungen auf das Schlagvolumen	51

	Seite
3. Einfluß steigender Belastungen auf den Mitteldruck	54
4. Einfluß steigender Belastungen auf das Herzminutenvolumen	54
5. Einfluß steigender Belastungen auf den Herzminutenvolumen-Quotient	57
6. Einfluß steigender Belastungen auf die Pulswellengeschwindigkeit in der Aorta	57
7. Einfluß steigender Belastungen auf die Pulswellengeschwindigkeit in der Art. radialis	57
d) Pulswellengeschwindigkeits-Quotient	62
<u>D. Besprechung der Ergebnisse</u>	63
I. Die Bedeutung der bestimmten und errechneten Kreislaufgrößen für die Beurteilung der Leistungs- und Anpassungsfähigkeit des Kreislaufes:	63
a) Pulsfrequenz	63
b) Schlagvolumen	65
c) Mitteldruck	66
d) Herzminutenvolumen	66
e) Herzminutenvolumen-Quotient	67
f) Pulswellengeschwindigkeit in der Aorta	68
g) Pulswellengeschwindigkeit in der Art. radialis	68
II. Die Bedeutung des Pulswellengeschwindigkeits-Quotienten	70

E. Zusammenfassung

72

F. Literaturverzeichnis

74

A. Einleitung

Für die Aufrechterhaltung der Funktionen des Organismus ist die Leistungs- und Anpassungsfähigkeit des Kreislaufes, z.B. bei körperlicher Arbeit, bei Temperatureinfluß, Sauerstoffmangel, Beschleunigungseinwirkung, auch bei krankmachenden Einflüssen und operativen Eingriffen, sowohl unter kurzfristiger als auch unter langdauernder Belastung stets von entscheidender Bedeutung. Für die Versorgung der einzelnen Teile des Organismus mit Sauerstoff und anderen Energieträgern stellt der Kreislauf immer den engen Querschnitt dar, der die Versorgungsmöglichkeiten begrenzt.

Es ist daher nicht verwunderlich, daß man in den Lehrbüchern der Herz- und Kreislaufkrankheiten eine Fülle von Funktionsproben angegeben findet, die dazu dienen, die Leistungs- und Anpassungsfähigkeit des Kreislaufes zu prüfen.

Nur eine oberflächliche Betrachtung könnte zu dem Urteil verleiten, daß die Fülle der Methoden dafür spreche, daß wohl keine Methode ganz befriedige. Wenn man weiß, welche vielfältigen Aufgaben Herz und Gefäße innerhalb der Körperfunktionen zu erfüllen haben, und wie eng der Kreislauf z.B. mit der Atmung und dem Stoffwechsel verbunden ist, dann wird man die Fülle der Kreislauffunktionsprüfungen als durch die physiologischen Tatsachen bedingt ansehen und in dieser eher einen Gewinn erblicken, worauf BLASIUS (6) besonders hinweist. Gerade durch die Vielfalt der Untersuchungsmöglichkeiten lassen sich natürlich vielfache Befunde erheben, die zusammengekommen ein sehr detailliertes Bild über den Zustand des Kreislaufs verschaffen können.

Alle Kreislauffunktionsprüfungen zielen darauf ab, ein exaktes Maß für die Leistungsänderungen des Kreislaufes

zu gewinnen. Die wichtigste Größe, die eine solche Beurteilung erlaubt, ist das Herzminutenvolumen, also das in der Zeiteinheit vom Herzen in den großen Kreislauf ausgeworfene Blutvolumen.

Im wesentlichen stehen heute zwei Methoden der Bestimmung des Herzminutenvolumens zur Verfügung, erstens die gasanalytische oder die mit dieser verwandte Farbstoffverdünnungs-Methode und zweitens die physikalische Methode.

Alle gasanalytischen oder Farbstoffverdünnungs-Methoden beruhen auf dem FICK'schen Prinzip, d.h. auf der Voraussetzung, daß sich das Minutenvolumen direkt proportional der O_2 -Aufnahme und umgekehrt proportional der arterio-venösen O_2 -Differenz verhält. Während die O_2 -Aufnahme leicht zu bestimmen ist, kann die arterio-venöse O_2 -Differenz beim Menschen nur mittels einer Herzkatheterisierung exakt gemessen werden. Eine Vorbedingung für die Anwendung dieses Prinzips ist jedoch, daß stets normale Gasaustauschverhältnisse in der Lunge gegeben sind, was bekanntlich z.B. bei Herzinsuffizienzen nicht der Fall ist. Ferner muß während der Messung eine konstante Kreislaufzeit vorliegen, eine Bedingung, die z.B. unter Belastungen nicht eingehalten werden kann.

Unabhängig von allen diesen Fehlermöglichkeiten sind die physikalischen Methoden, die auch bei den vorliegenden Versuchen angewandt wurden.

Nach den Untersuchungen von FRANK (9) und seinen Schülern wurden Formeln entwickelt, die es ermöglichen, aus der Blutdruckamplitude, der Pulswellengeschwindigkeit, dem Querschnitt der Aorta, der Systolen- und Diastolendauer das Schlagvolumen des Herzens zu bestimmen.

Gemeinsam ist den Schlagvolumenformeln von FRANK (9), BROEMSER und RANKE (7), WEZLER und BÖGER (20),

WETTERER (19) u.a., daß in diesen das Schlagvolumen (V_s) in direkter Proportionalität zur Blutdruckamplitude ($p_s - p_d$) und dem Ruhequerschnitt der Aorta (Q) und in umgekehrter Proportionalität zur Pulswellengeschwindigkeit (a) und der Blutdichte (ϱ) erscheint. Dieser Ausdruck ist in den verschiedenen Formeln noch vermehrt um einen jeweils sich aus verschiedenen Größen zusammensetzenden Faktor, bei BROEMSER und RANKE (7):

$$\frac{T \times S}{D} = \frac{\text{Pulsdauer} \times \text{Systolendauer}}{\text{Diastolendauer}}$$

Die Formel nach BROEMSER und RANKE, die auch bei den vorliegenden Versuchen benutzt wurde, lautet also:

$$V_s = Z \times \frac{(p_s - p_d) \times Q \times T \times S}{a \times \varrho \times D}$$

in der Z eine Umrechnungskonstante mit dem Wert 0,48 bedeutet.

Folgende Fehlermöglichkeiten bestimmen nach BLASIUS (3) die Genauigkeit der Formel. Die Messung der Pulswellengeschwindigkeit ist relativ exakt möglich. Sie wird bekanntlich aus der zeitlichen Verspätung zweier Pulscurven gewonnen. Allerdings ist die Laufstrecke der Pulswelle, die Aortenlänge, nicht ganz exakt zu messen. Die Bestimmung der Pulsdauer (T) ist sehr exakt, die der Zeiten (S) und (D) weniger, da S in der Pulscurve nicht der ganzen Systolendauer, sondern nur der Austreibungszeit entspricht. Die Bestimmung des unblutigen Blutdruckes weist bekanntlich prinzipielle Fehler auf. So wird der systolische Druck (p_s) durch den Staudruck etwa um 5 % erhöht gemessen; ebenfalls wird die Bestimmung des diastolischen Druckwertes (p_d) etwas zu hoch angesetzt. Die Fehler für p_s und p_d gleichen sich etwa aus, so daß die Blutdruckamplitude relativ genau gemessen wird. Ebenso ist die röntgenologische Berechnung des Ruhequerschnittes der Aorta (Q) zur Zeit noch mit einem erheblichen Fehler behaftet. Meist wird sie deshalb

durch die Ablesung eines durchschnittlichen Querschnittswertes aus der SUTER'schen Tabelle der Altersabhängigkeit des Aortenquerschnittes ersetzt, wie auch bei den vorliegenden Versuchen.

Wenn man sich mit der Bestimmung der relativen V_m -Änderungen begnügt, dann liefert das einfache Verfahren von BLASIUS (2) sehr brauchbare Ergebnisse. Die Ableitung der Q_{vm} -Formel hat BLASIUS zuerst 1943 (2) und später 1949 (3) und 1954 (6) mit ausführlicheren Begründungen gegeben. Der von BLASIUS entwickelte Herzminutenvolumenquotient (Q_{vm}) ist folgendermaßen definiert:

$$Q_{vm} = \frac{(p_s - p_d)_a \times F_a}{(p_s - p_d)_r \times F_r}$$

In dieser Formel bedeutet wiederum p_s den systolischen, p_d den diastolischen Blutdruck und F die Pulsfrequenz. Die Indices a und r gelten für die Werte "nach Arbeit" und "in Ruhe". Man erkennt ohne weiteres, daß in dieser Formulierung der Herzminutenvolumenänderung die Blutdruckamplitude als Maß des Schlagvolumens erscheint. BLASIUS konnte zeigen, daß bei Versuchen an verschiedenen Tierarten mit blutiger Druck- und direkter Messung der Stromstärke in der Aorta stets eine lineare Proportionalität zwischen Blutdruckamplitude und Schlagvolumen für eine sehr erhebliche Breite experimentell erzeugter Schlagvolumenänderungen bestand. Auch beim Menschen ließ sich diese Proportionalität bei den verschiedensten normalen und pathologischen Kreislaufzuständen (im Training, bei Hypertonien, Hypotonien u.a.) wiederfinden, wenn die unblutigen Druckwerte und die Bestimmung des Schlagvolumens nach der Formel von BROEMSER und RANKE vorgenommen wurde.

Durch die Untersuchungen von BLASIUS angeregt, hat BIERHAUS (1) eine größere Zahl chirurgisch zu behandelnder Fälle mit der Methode der Q_{vm} -Bestimmung durchuntersucht, und

zwar zog er diese Methode systematisch zur Kreislauf-funktionsprüfung vor, während und nach einer Operation heran. Dabei verglich er die Ergebnisse der Q_{vm} -Bestimmung mit denen gleichzeitig vorgenommener Kreislaufanalysen nach dem BROEMSER-RANKE'schen Verfahren. Er konnte nachweisen, daß die Belastung durch eine Operation ähnliche hämodynamische Folgen hat wie eine Belastung durch körperliche Arbeit. Bemerkenswert ist, daß er bei seinen ausführlichen Untersuchungen in der Q_{vm} -Bestimmung den besten Test zur Klärung der Operationsgefährdung fand. Zu den gleichen Ergebnissen wie BIERHAUS ist nach ihm MEISSNER (11) an der Chirurgischen Klinik in Leipzig gekommen, der an 120 Fällen Q_{vm} -Bestimmungen vor und während einer Operation vornahm und dessen Resultate bestätigt fand. ^{x)}

Bei den vorliegenden Untersuchungen sollte der Wert der physikalischen Kreislaufanalyse und der der Q_{vm} -Bestimmung bei abgestufter Ergometer-Belastung zur Beurteilung der Leistungs- und Anpassungsfähigkeit des Kreislaufes an einer größeren Zahl von Versuchspersonen geprüft werden. Die Untersuchungen sollten Kriterien für die Anpassung des Kreislaufes bei normalen Versuchspersonen liefern, die entweder nie Sport betrieben oder als besonders gut bzw. wenig trainiert gelten konnten.

Der Begriff "Training" umfaßt Übungs- und Anpassungsvorgänge, ist also nicht eigentlich exakt. Die Übung ändert lediglich die physiologischen Bedingungen der Körperfunktionen, während die Anpassung sich auf morphologische

^{x)} In dem "Taschenbuch klinischer Funktionsprüfungen", herausgegeben von A. GITTER und L. HEILMEYER, Stuttgart 1960, wird die von BLASIUS inaugurierte Q_{vm} -Bestimmung ebenfalls als wertvolle Funktionsprüfung aufgeführt, aber fälschlicherweise mit dem Namen BIERHAUS verbunden.

Veränderungen bezieht. Insofern ist ein Kreislauf-trainierter ein Kreislaufangepaßter, weil die einzelnen Teile des Kreislaufes, Herz und Gefäße, durch erhöhte Belastung schließlich morphologische Veränderungen aufweisen. Wenn im Folgenden von Trainierten gesprochen wird, sind also die Kreislaufangepaßten gemeint.

B. Methodik

I. Versuchsgut

Die vorliegenden Versuche wurden an 27 männlichen Versuchspersonen (Vpn.), vorwiegend Studenten, im Alter zwischen 16 und 28 Jahren, durchgeführt. Alle Vpn. hatten sich freiwillig für die Versuche zur Verfügung gestellt.

Jede Versuchsperson (Vp.) wurde vor Beginn einer Serie der geplanten Belastungsversuche einer eingehenden klinischen Untersuchung unterzogen. Bei der Aufnahme anamnestischer Daten wurde besonders auf die sportliche und körperliche Betätigung geachtet.

Die Vpn. wurden in drei Gruppen aufgeteilt: Die erste Gruppe bildeten 7 Leistungssportler (Olympiateilnehmer im Rudern, Basketballnationalspieler, Kunstturner u.a.), die zweite Gruppe 11 Vpn., die körperlich gut entwickelt, jedoch seit zwei oder mehreren Jahren keinerlei Sport mehr betrieben hatten und als wenig oder nur mäßig trainiert angesehen werden mußten, und schließlich eine dritte Gruppe von 9 Vpn., die vom sportphysiologischen Standpunkt als untrainiert zu bezeichnen waren.

II. Registrierung der Pulswellengeschwindigkeit in der Aorta und in der Art. radialis

Nach einer Ruhepause von 10 Minuten, welche die Vpn. bereits in Rückenlage auf dem Ergometertisch verbrachten, wurden zur Messung der Pulswellengeschwindigkeit die Pulsmikrophone nach BOUKE-BRECHT an den Aa. carotis, radialis und femoralis angelegt. Die Pulsabnahmestellen, an denen die Pulse der genannten Arterien am besten zu tasten waren, wurden mit einem Fettstift markiert. Auf diese Weise war eine genaue Messung der Abstände zwischen den Pulsabnahmestellen nach folgendem Schema möglich:

Jugulum	——	Abnahmestelle Carotis	= IC
Jugulum	——	Abnahmestelle Radialis	= IR
Jugulum	——	Nabel	= IN
Nabel	——	Abnahmestelle Femoralis	= NF

Die 3 Pulskurven wurden jeweils synchron mit einem Multiscriptor (Fa. Hellige, Freiburg) bei einer Papiergeschwindigkeit von 50 mm/sec. registriert.

III. Blutdruckmessung nach RIVA-ROCCI und von RECKLINGHAUSEN

Der Blutdruck wurde nach der Methode von RIVA-ROCCI und von RECKLINGHAUSEN bestimmt. Bei der Messung des diastolischen Blutdruckes wurde bei fallendem Manschettendruck auf den Beginn des Leiserwerdens des KOROTKOW'schen-Geräusches besonders geachtet.

IV. Quantitative Ergometrie nach BLASIUS zur Belastungsprüfung bei den durchgeführten Kreislaufuntersuchungen

Nach Verzeichnung der Ruhekurven folgten die Belastungsversuche an einem eigens für Belastungen in Rückenlage konstruiertem Ergometer nach BLASIUS (5). Die Vpn. leisteten bei einer konstanten Umdrehungsfrequenz von 50 Umdrehungen/Min. Tretarbeit im Liegen für eine Dauer von je 2 Minuten, und zwar bei einer stufenförmigen Belastung von 50, 100, 150 und 200 Watt. Zur Kontrolle der Beibehaltung der Umdrehungsfrequenz durch die Vp. war im Blickfeld der Vp. ein Drehzahlmesser angebracht, der auch vom Versuchsleiter jederzeit überprüft werden konnte.

V. Pulskurven nach verschiedenen Belastungen
und ihre Güte für die Bestimmung der
Kreislaufgrößen

Da erst im Anschluß an einen Belastungsversuch auswertbare Pulskurven aufgenommen werden konnten, war es notwendig, folgende Anordnung für alle Registrierungen nach Belastung einzuhalten. Die Vpn. wurden aufgefordert, unmittelbar nach geleisteter Arbeit die Beine von den Pedalen zu nehmen und lang auf den Tisch zu legen, so daß wieder eine völlige Ruhelage eintrat. Ferner wurden sie aufgefordert, zwei Atemzüge zu tun und den Atem in mittlerer Expirationsstellung für einige Zeit anzuhalten. In dieser Zeit des Atemanhaltens wurden dann die Belastungskurven registriert. Die zeitlich zuerst gewonnen Kurven dienten jeweils der Bestimmung der Kreislaufgrößen.

Daß sich mit dieser Methode brauchbare Pulskurven zur Berechnung des Schlagvolumens und der anderen physikalischen Größen gewinnen ließen, mögen drei Beispiele von Pulskurvenserien der genannten 3 Gruppen von Vpn. zeigen (Abb. 1 - 3). In diesen Abbildungen bedeuten jeweils:

- a = Ruhe-Pulskurven
- b = Pulskurven nach 50 Watt Belastung
- c = Pulskurven nach 100 Watt Belastung
- d = Pulskurven nach 150 Watt Belastung
- e = Pulskurven nach 200 Watt Belastung

Die obere Kurve ist jeweils die Pulskurve der Art. radialis, die mittlere die der Art. carotis und die untere die der Art. femoralis.

Abbildung 1 gibt die Kurven eines Leistungssportlers,
Abbildung 2 die eines mässig Trainierten und
Abbildung 3 die eines Untrainierten wieder.

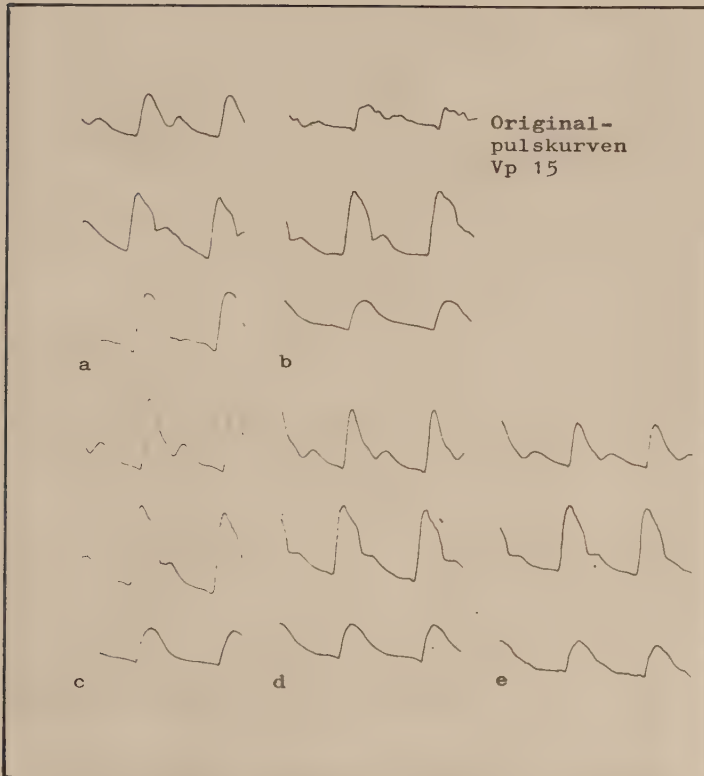


Abb. 1

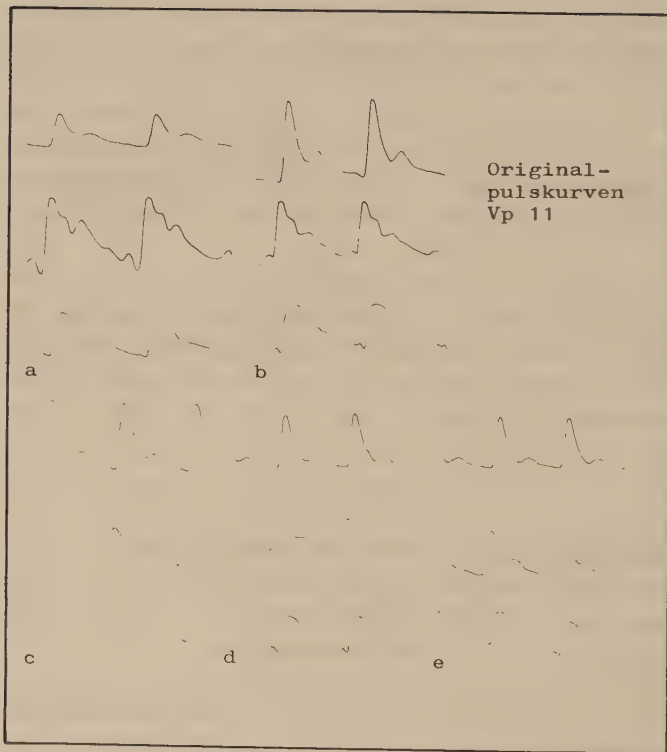


Abb. 2

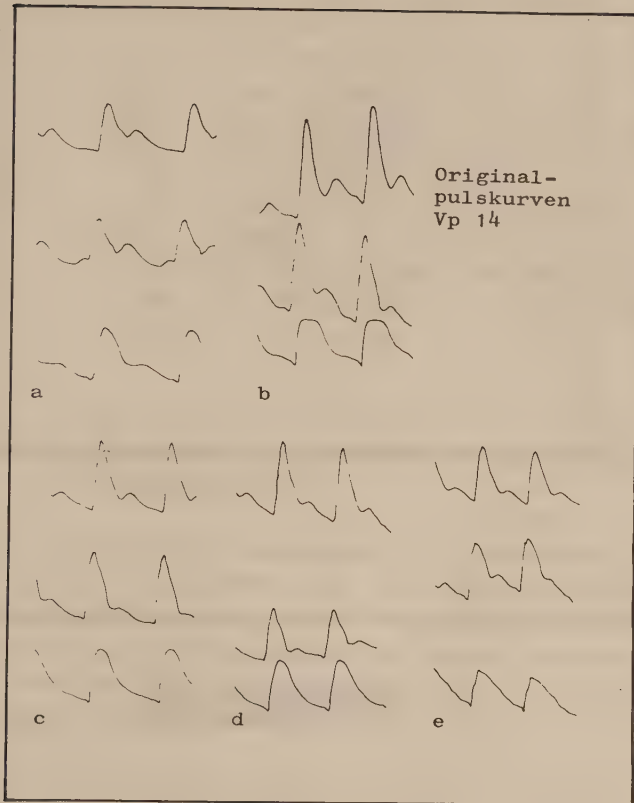


Abb. 3

VI. Bestimmung und Berechnung der Pulswellen-
geschwindigkeiten

Die Zeiten T, S und D in den Pulskurven wurden wie folgt bestimmt:

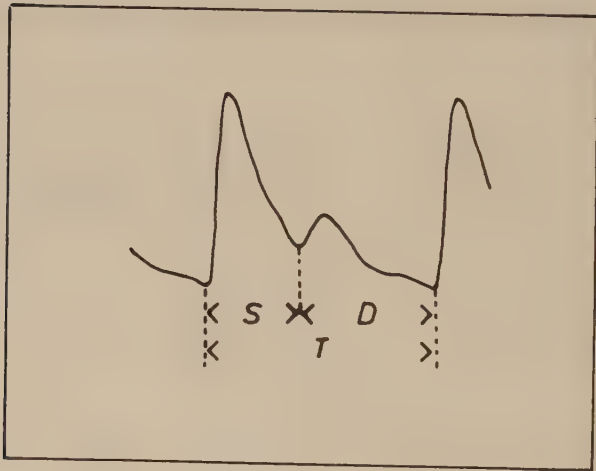


Abb. 4

Definitionsgemäß ist also die Pulswellengeschwindigkeit

$$a = \frac{\text{Wegdifferenz [cm]}}{\text{Zeitdifferenz [sec]}}$$

VII. Berechnung des physikalischen Schlagvolumens
nach BROEMSER und RANKE

Zur Berechnung des physikalischen Schlagvolumens nach BROEMSER und RANKE (7) wurde folgende Formel benutzt:

$$V_S = Z \times \frac{\Delta p \times Q \times T \times S}{a \times \rho \times D}$$

T = Pulsdauer [sec]

S = Systolendauer [sec]

D = Diastolendauer [sec]

Q = Aortenquerschnitt [cm²] (wurde jeweils dem Lebensalter entsprechend den Tabellen von SUTER entnommen)

Z = 0,48 = Konstante nach BROEMSER und RANKE

ρ = Blutdichte = 1,06 [g/cm³]

Δp = Blutdruckamplitude in [dyn/cm²] oder
[cm Hg x 13,6 x 981]

VIII. Berechnung des Herzminutenvolumen-Quotienten
nach BLASIUS

Der Herzminutenvolumenquotient Q_{vm} wurde nach der Formel von BLASIUS (2) errechnet. Unmittelbar nach jeder Belastung wurden ebenfalls von einer Hilfsperson die Blutdruckwerte bestimmt. Es wurde genauestens darauf geachtet, daß vor jeder neuen Belastungsstufe der Blutdruck wieder seinen Ruhewert erreicht hatte.

$$Q_{vm} = \frac{(p_s - p_d)_a \times F_a}{(p_s - p_d)_r \times F_r}$$

p_s = systolischer Blutdruck

p_d = diastolischer Blutdruck

F = Pulsfrequenz/15 sec.

Der Index a (r) bedeutet Messung nach Arbeitsbelastung (Ruhe).

Zur statistischen Auswertung des Verhaltens der drei genannten Gruppen von Vpn. hinsichtlich der berechneten Kreislaufgrößen wurde das statistische Verfahren der Regressionsanalyse nach den Wissenschaftlichen Tabellen der Documenta Geigy, 7. Aufl., S. 175, Abschn. 18 verwandt (21).

C. Ergebnisse

I. Darstellung charakteristischer Kreislaufgrößen bei Kreislauftrainierten, Wenigtrainierten und Untrainierten

Die drei Gruppen von Vpn. (A. Trainierte, B. Wenigtrainierte, C. Untrainierte) zeigten bei den Belastungsversuchen ganz charakteristische Verläufe der Kreislaufgrößen, die im Folgenden durch drei Beispiele zunächst gekennzeichnet werden sollen. Für die Darstellung wurden folgende bestimmte und errechnete Kreislaufgrößen herangezogen:

1. die Blutdruckwerte p_s , p_d und Δp (mm Hg),
2. die Pulsfrequenz,
3. die Pulswellengeschwindigkeit in der Aorta und Art. radialis [m/sec],
4. das Herzminutenvolumen V_m [L/min],
5. den Herzminutenvolumenquotienten Q_{vm} .

Die Veränderungen dieser Größen unter steigenden Belastungen sind in den folgenden Abbildungen 5 - 7 dargestellt.

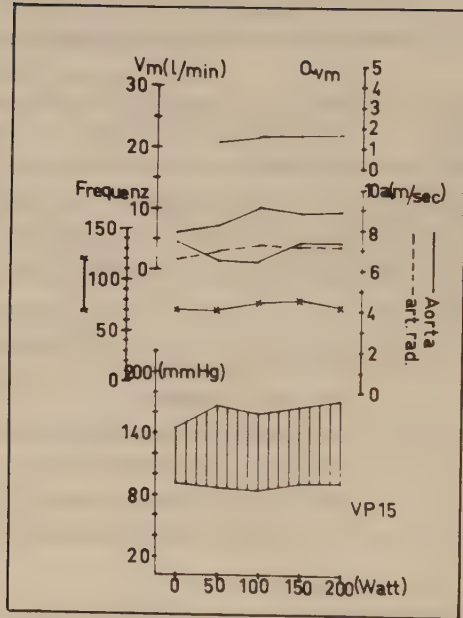


Abb. 5

A. Kreislaufveränderungen unter Ergometerbelastung bei einem Trainierten.

$V_p.15$, G. H. 22 Jahre, Basketballnationalspieler, Größe 193 cm, Körpergewicht 92 kg

Die $V_p.15$ zeigt ein rasches Ansteigen des systolischen Blutdruckes von 145 auf 175 mm Hg beim Übergang von der Ruhelage zur ersten Belastungsstufe. Nach der zweiten Belastungsstufe ist der Blutdruckanstieg nicht so ausgeprägt. Bei der stärksten Belastung hingegen wird nur ein Wert von 175 mm Hg erreicht. Der diastolische Druck

bleibt über alle Belastungsstufen nahezu konstant und liegt bei etwa 90 mm Hg.

Die Pulsfrequenz bleibt relativ niedrig (70 Schläge/min) und erreicht einen Maximalwert von nur 74 Schlägen/min bei der 3. Belastungsstufe.

Die Pulswellengeschwindigkeit in der Aorta fällt von 7,3 m/sec in Ruhe auf 6,4 m/sec bei den folgenden Belastungen von 50 und 100 Watt ab, erreicht dann wieder den Ausgangswert von 7,3 m/sec bei stärkster Belastung. Die Pulswellengeschwindigkeit in der Art. radialis steigt von 6,5 m/sec in Ruhe auf 7,2 m/sec bei stärkster Belastung.

Der Q_{vm} -Wert wird geringfügig von 1,3 auf 1,6 erhöht, eine Steigerung, die annähernd derjenigen des Minutenvolumens von 5,8 L/min auf 9,4 L/min entspricht.

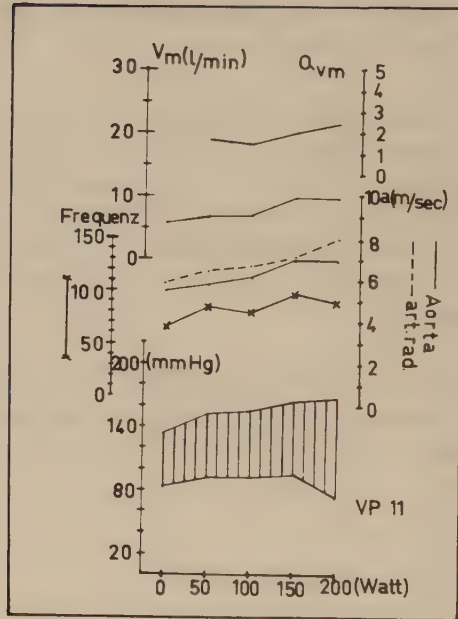


Abb. 6

B. Kreislaufveränderungen unter Ergometerbelastung bei einem Wenigtrainierten.

Vp. 11, L. G. 23 Jahre,

Größe 179 cm, Körpergewicht 76 kg.

Keine sportliche Betätigung, jedoch früher Skilanglauf.

Bei dieser Vp. ist vor allem die starke Erhöhung der Blutdruckamplitude, besonders bei stärkster Belastung, bemerkenswert.

Die Kurve der Pulsfrequenz zeigt einen undulierenden Verlauf mit einem Maximalwert bei 94 Schlägen/min.

Die beiden Kurven der Pulswellengeschwindigkeiten in Aorta und Radialis haben im Gegensatz zu den Kurven der vorigen Vp. einen fast gleichsinnigen Verlauf mit stetigem Anstieg.

Das Minutenvolumen steigt von 5,6 L/min auf knapp 9,1 L/min an. Der Anstieg des V_m ist in diesem Fall vornehmlich durch die Steigerung der Frequenz erreicht worden. Der Q_{vm} -Wert liegt im Bereich von 1,4 - 2,4.

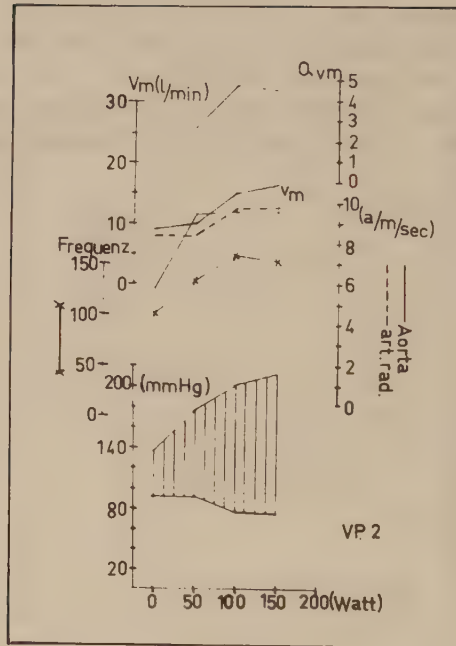


Abb. 7

C. Kreislaufveränderungen unter Ergometerbelastung bei einem Untrainierten

Vp. 2, M. P. 24 Jahre

Größe 189 cm, Körpergewicht 68 kg.

Vp. hat nie Sport getrieben, auch im Beruf nur leichte körperliche Arbeit.

Bei dieser Vp. fällt auf, daß die relativ normalen Ruhe-Blutdruckwerte sich bei den Belastungen extrem ändern. Der systolische Druck steigt von 138 mm Hg auf 210 mm Hg an, der diastolische Druck sinkt von 90 mm Hg auf 76 mm Hg

Bei der Höchstbelastung von 150 Watt wurde eine Blutdruckamplitude von 134 mm Hg bestimmt.

Das Frequenzverhalten ist ebenfalls bemerkenswert. Diese Vp. weist eine Ruhefrequenz von rund 100 Schlägen/min auf. Das Maximum von 158 Schlägen/min wird bereits bei 100 Watt Belastung erreicht; nach dieser Belastungsstufe fällt die Frequenz bei 150 Watt geringfügig ab. Kennzeichnend für den Kreislaufzustand dieser untrainierten Vp. ist es, daß sie die Belastung von 150 Watt eben noch bewältigte, die schwerste Tretarbeit von 200 Watt jedoch nicht mehr zu verrichten im Stande war.

Das Verhalten der errechneten Pulswellengeschwindigkeiten zeigt, daß diese Vp. bei niedrigster Belastungsstufe bereits eine beträchtliche Erhöhung der Pulswellengeschwindigkeit in der Aorta gegenüber den anderen Gruppen aufweist. Die Pulswellengeschwindigkeit in der Art. radialis zeigt erst bei 100 Watt ein ähnliches Verhalten.

Das Herzminutenvolumen steigt von 9 auf 17 L/min an. Diese enorme Steigerung ist vor allem durch die Erhöhung des Schlagvolumens und die gleichzeitig statthabende starke Steigerung der Pulsfrequenz bedingt.

Der Q_{vm} -Wert liegt bei dieser Vp. sehr hoch, und zwar zwischen 2,6 und 4,6. Dieser hohe Q_{vm} -Wert erklärt sich durch die enorm hohe Blutdruckamplitude und durch die sehr ausgeprägte Steigerung der Pulsfrequenz. Eine solche starke Q_{vm} -Steigerung bei den genannten Belastungen kann als sicheres Zeichen der Kreislauf-Insuffizienz des Nichttrainierten gewertet werden.

II. Zahlenwerte aller gemessenen und errechneten
Kreislaufgrößen

a_{rad} = Pulswellengeschwindigkeit in der
Art. radialis

a_{Aorta} = Pulswellengeschwindigkeit in der
Aorta

$\frac{p_s + p_d}{2}$ = Mitteldruck

Fr = Pulsfrequenz

V_s = Schlagvolumen

Q_{vm} = Herzminutenvolumenquotient

V_m = Minutenvolumen

Tabelle 1 = Leistungssportler

Tabelle 2 = Wenigtrainierte

Tabelle 3 = Untrainierte

Tabelle 1: Gemessene und errechnete Kreislaufdaten von 7 Leistungssportlern

R u h e							
V _p	a _{rad}	a _{Aorta}	$\frac{p_s + p_d}{2}$	Fr	V _s	Q_{vm}	V _m
20 B.U.	8,72	5,50	95	49	92,5	-	4,55
18 R.G.	7,85	4,50	114	58	114,0	-	6,60
17 F.G.	7,50	6,30	102	79	77,5	-	6,10
6 D.R.	6,27	4,20	112	65	107,0	-	6,95
15 G.H.	6,50	7,30	116	70	84,0	-	5,88
12 P.R.	7,85	6,15	102	55	54,0	-	2,97
5 S.W.	6,55	5,75	99	54	75,0	-	4,05
B e l a s t u n g : 50 Watt							
20 B.U.	8,10	4,90	110	57	111,0	1,44	6,30
18 R.G.	7,85	4,50	112	68	181,0	1,16	12,30
17 F.G.	8,00	7,35	114	90	105,0	1,60	9,45
6 D.R.	6,27	4,66	120	79	102,0	1,67	8,05
15 G.H.	6,85	6,40	125	69	98,5	1,30	6,90
12 P.R.	8,45	7,65	107	56	61,0	1,34	3,42
5 S.W.	7,36	5,10	102	62	105,0	1,25	6,50

Tabelle 1: Fortsetzung

B e l a s t u n g: 100 Watt							
V _p	a _{rad}	a _{Aorta}	$\frac{P_s + P_d}{2}$	Fr	V _s	Q _{vm}	V _m
20 B.U.	9,40	4,90	107	55	153,0	1,46	8,40
18 R.G.	8,40	5,00	120	59	173,0	1,50	10,20
17 F.G.	7,50	6,30	113	87	111,0	1,45	9,65
6 D.R.	7,06	5,25	120	56	119,0	1,36	6,65
15 G.H.	7,20	6,40	121	77	130,0	1,53	10,00
12 P.R.	7,40	5,75	110	67	69,0	1,81	4,60
5 S.W.	7,86	5,75	107	54	85,5	1,14	4,60
B e l a s t u n g: 150 Watt							
20 B.U.	6,80	4,65	102	67	128,0	1,29	8,56
13 R.G.	8,75	6,45	117	55	87,5	1,28	4,80
17 F.G.	6,66	5,50	113	88	155,0	1,72	13,60
6 D.R.	8,06	5,25	127	67	133,0	1,77	8,90
15 G.H.	7,20	7,30	127	80	92,5	1,54	7,40
12 P.R.	6,95	6,15	112	75	97,0	2,08	7,25
5 S.W.	7,86	5,75	110	64	98,0	1,47	6,27

Tabelle 1: Fortsetzung

V_p	a_{rad}	a_{Aorta}	$\frac{p_s + p_d}{2}$	Fr	V_s	Q_{vm}	V_m
20 B.V.	6,10	4,40	112	62	130,0	1,72	8,05
18 R.G.	7,85	5,62	115	69	118,0	1,58	8,15
17 F.G.	7,50	6,30	115	93	148,5	1,95	13,80
6 D.R.	6,27	5,25	130	88	172,0	2,45	15,20
15 G.H.	7,20	7,30	122	74	127,0	1,70	9,40
12 P.R.	6,20	5,10	113	77	126,0	2,21	9,70
5 S.W.	7,86	5,75	113	80	106,0	1,94	8,50

Tabelle 2: Gemessene und errechnete Kreislaufdaten von 11 Wenigtrainierten

R u h e							
V_p	a_{rad}	a_{Aorta}	$\frac{p_s + p_d}{2}$	Fr	V_s	Q_{vm}	V_m
26 M.H.	8,25	6,40	80	53	111,0	-	5,85
7 G.M.	7,25	6,25	102	71	65,3	-	4,63
25 S.H.	7,00	5,36	107	77	71,0	-	5,45
23 R.H.	8,15	6,00	110	65	81,5	-	5,30
22 T.S.	8,80	8,20	92	66	58,0	-	3,80
19 G.S.	7,65	6,00	90	72	57,0	-	4,10
11 L.G.	5,73	5,34	108	63°	88,5	-	5,59
10 H.G.	7,25	5,42	119	74	59,0	-	4,35
9 C.P.	7,55	5,88	113	66	82,2	-	5,40
3 K.W.	6,00	4,10	100	67	96,0	-	6,41
8 B.A.	7,13	4,78	99	82	65,7	-	5,37

Tabelle 2: Fortsetzung

Belastung: 50 Watt							
V_p	a_{rad}	a_{Aorta}	$\frac{p_s + p_d}{2}$	Fr	V_s	Q_{vm}	V_m
26 M.H.	4,40	5,40	82	73	164,0	1,48	12,00
7 G.M.	8,29	7,15	102	75	72,5	1,15	5,45
25 S.H.	7,00	5,36	120	81	180,0	2,38	14,60
23 R.H.	8,85	5,60	112	88	156,0	1,69	13,70
22 T.S.	8,20	7,00	88	66	67,0	1,05	4,40
19 G.S.	9,00	5,65	105	65	76,0	1,15	4,95
11 L.G.	6,30	6,65	120	82	80,0	1,40	6,55
10 H.G.	7,45	6,00	120	83	62,0	1,22	5,15
9 C.P.	8,15	6,72	112	68	101,0	1,22	6,86
3 K.W.	7,50	4,56	102	65	105,0	1,18	6,82
8 B.A.	7,13	5,37	113	97	92,7	1,62	9,00

Tabelle 2: Fortsetzung

B e l a s t u n g: 100 Watt							
V _p	a _{rad}	a _{Aorta}	$\frac{P_s + P_d}{2}$	Fr	V _s	Q _{vm}	V _m
26 M.H.	4,40	3,40	80	58	104,0	0,73	6,00
7 G.M.	7,25	7,15	105	77	75,5	1,33	5,80
25 S.H.	7,45	6,15	112	94	133,0	2,02	12,50
23 R.H.	7,60	5,30	105	74	94,5	1,14	7,00
22 T.S.	8,80	6,00	96	99	117,0	1,90	11,60
19 G.S.	7,34	5,46	105	76	81,0	1,32	6,15
11 L.G.	6,60	6,00	123	77	84,5	1,34	6,50
10 H.G.	6,45	8,40	120	107	54,2	2,04	5,80
9 C.P.	8,15	6,72	102	59	65,6	0,70	3,86
3 K.W.	6,00	5,12	105	63	94,0	1,31	5,92
8 B.A.	7,13	5,74	119	98	98,8	1,69	9,70

Tabelle 2: Fortsetzung

Belastung: 150 Watt							
V_p	a_{rad}	a_{Aorta}	$\frac{P_s + P_d}{2}$	Fr	V_s	Q_{vm}	V_m
26 M.H.	4,40	3,40	90	69	106,0	1,30	7,30
7 G.M.	7,25	6,25	107	82	106,0	1,42	8,70
25 S.H.	7,00	6,60	112	81	110,0	1,77	8,90
23 R.H.	7,60	6,00	105	81	112,0	1,47	9,10
22 T.S.	8,80	6,40	94	76	104,0	1,05	7,90
19 G.S.	7,65	6,00	97	79	92,0	1,78	7,25
11 L.G.	7,00	6,85	127	94	99,5	1,84	9,35
10 H.G.	6,45	7,00	125	89	67,5	1,98	6,00
9 C.P.	7,55	6,72	112	100	64,0	0,99	6,40
3 K.W.	5,46	5,12	105	68	106,0	1,39	7,20
8 B.A.	8,14	6,14	124	77	79,0	1,49	6,10

Tabelle 2: Fortsetzung

B e l a s t u n g: 200 Watt							
V _p	a _{rad}	a _{Aorta}	$\frac{P_s + P_d}{2}$	Fr	V _s	Q _{vm}	V _m
26 M.H.	6,60	3,40	92	70	180,0	1,03	12,60
7 G.M.	7,25	6,25	112	84	121,0	1,88	10,20
25 S.H.	8,00	7,15	117	95	108,0	2,37	10,20
23 R.H.	8,85	5,60	117	94	120,0	1,80	11,30
22 T.S.	7,60	7,50	102	90	98,0	2,15	8,80
19 G.S.	6,60	5,46	105	84	81,0	1,45	6,80
11 L.G.	7,88	6,85	118	87	105,0	2,32	9,15
10 H.G.	6,45	7,00	132	111	69,5	2,63	7,70
9 C.P.	8,15	6,25	114	96	134,0	2,08	12,80
3 K.W.	6,66	4,56	115	85	141,0	2,53	12,00
8 B.A.	7,13	5,37	131	76	108,0	1,72	8,25

Tabelle 3: Gemessene und errechnete Kreislaufdaten von 9 Untrainierten

R u h e									
V_p	a_{rad}	a_{Aorta}	$\frac{p_s + p_d}{2}$	Pr	V_s	Q_{vm}	V_m		
2 M.P.	8,30	5,88	111	100	85,0	-	8,50		
1 B.S.	5,00	4,27	114	54	79,2	-	4,28		
14 C.K.	7,20	6,65	122	66	109,0	-	7,20		
16 K.L.	6,45	5,50	110	72	135,0	-	9,70		
27 A.P.	7,55	5,90	87	65	77,5	-	5,05		
24 T.A.	7,50	6,65	97	70	39,0	-	2,73		
21 H.H.	7,50	7,00	140	97	58,0	-	5,65		
13 E.M.	8,60	5,62	116	78	113,0	-	8,80		
4 H.V.	5,80	5,67	109	73	93,6	-	6,82		

Tabelle 3: Fortsetzung

Belastung: 50 Watt							
V_p	a_{rad}	a_{Aorta}	$\frac{p_s + p_d}{2}$	Fr	V_s	Q_{vm}	V_m
2 M.P.	8,30	9,40	132	133	71	2,68	9,45
1 B.S.	5,42	5,23	107	55	121	2,00	6,65
14 C.K.	7,20	7,75	122	84	123	1,44	10,30
16 K.L.	6,80	6,28	127	77	135	1,70	10,40
27 A.P.	7,10	5,60	100	75	82	0,96	6,15
24 T.A.	8,60	7,10	100	73	59	1,70	4,30
21 H.H.	8,00	8,20	142	107	63	1,27	6,75
13 E.M.	7,50	6,62	117	84	150	1,34	12,60
4 H.V.	5,80	6,38	116	73	117	1,17	8,50

Tabelle 3: Fortsetzung

B e l a s t u n g: 100 Watt							
V_p	a_{rad}	a_{Aorta}	$\frac{P_s + P_d}{2}$	Fr	V_s	Q_{vm}	V_m
2 M.P.	9,50	9,40	137	158	90,5	4,70	14,30
1 B.S.	7,25	6,72	112	61	129,0	4,15	7,86
14 C.K.	8,20	8,45	133	88	121,0	1,58	10,60
16 K.L.	6,80	7,33	129	98	163,0	2,32	16,00
27 A.P.	6,40	7,60	106	73	63,0	1,35	4,60
24 T.A.	6,70	3,50	107	83	160,0	2,60	13,30
21 H.H.	8,00	7,50	140	107	55,0	1,39	5,90
13 E.M.	7,50	6,62	120	78	145,0	1,27	11,30
4 H.V.	6,45	6,38	115	71	118,0	1,21	8,35

Tabelle 3: Fortsetzung

B e l a s t u n g: 150 Watt							
V_p	a_{rad}	a_{Aorta}	$\frac{P_s + P_d}{2}$	Fr	V_s	Q_{vm}	V_m
2 M.P.	9,50	9,40	192	158	109,0	4,62	17,20
1 B.S.	8,15	5,23	125	68	180,0	4,05	12,25
14 C.K.	8,20	9,30	142	91	103,0	1,58	9,40
16 K.L.	7,65	7,33	135	86	171,0	2,19	14,70
27 A.P.	8,55	7,10	85	81	96,0	1,46	7,80
24 T.A.	8,00	5,90	112	102	168,0	4,40	17,20
21 H.H.	8,00	8,90	135	116	48,0	1,25	5,60
13 E.M.	8,60	6,45	120	87	123,0	1,65	10,70
4 H.V.	7,25	7,29	127	107	63,5	2,46	6,80

Tabelle 3: Fortsetzung

B e l a s t u n g: 200 Watt							
V_p	a_{rad}	a_{Aorta}	$\frac{P_s + P_d}{2}$	Fr	V_s	Q_{vm}	V_m
2 M.P.	-	-	-	-	-	-	-
1 B.S.	8,40	7,60	174	102	170	4,56	17,15
14 C.K.	8,85	9,30	145	103	100	1,88	10,30
16 K.L.	7,65	7,33	128	90	177	2,42	16,00
27 A.P.	8,00	7,60	112	84	73	1,68	6,10
24 T.A.	9,25	7,60	120	99	135	5,10	13,30
21 H.H.	8,25	7,80	124	109	88	4,90	9,60
13 E.M.	7,50	7,50	127	82	106	1,70	8,65
4 H.V.	8,25	7,40	119	96	102	4,10	9,85

III. Statistische Auswertungen

a) Regressionsanalysen der verschiedenen Kreislaufgrößen

Tabelle 4: Regressionsanalyse

T_1	=	x
T_2	=	y
T_{11}	=	x^2
T_{12}	=	$(x \times y)$
T_{22}	=	y^2
S_{22}	=	$T_{22} - (T_2 \times T_2/n)$
S_{12}	=	$T_{12} - (T_1 \times T_2/n)$
S_{11}	=	$T_{11} - (T_1^2 /n)$
b	=	$\frac{S_{12}}{S_{11}}$
a	=	$\frac{y - b \times x}{n}$
x	=	Wattzahlen
y	=	Frequenz bzw. V_s oder andere Kreislaufgrößen
a	=	Ausgangspunkt der Geraden
b	=	Steigung der Geraden
n	=	Anzahl der Zahlenpaare

Die Korrelationswerte (r) wurden mit denen der Literatur verglichen ("Documenta Geigy", 7. Auflage, S. 61, November 1968).

b) Statistisch ermittelte Zahlenwerte in
Beziehung zur Belastungsgröße

a_{rad} = Pulswellengeschwindigkeit in der
Art. radialis

a_{Aorta} = Pulswellengeschwindigkeit in der
Aorta

$\frac{p_s + p_d}{2}$ = Mitteldruck

Frequenz = Schläge pro Minute

v_s = Schlagvolumen

Q_{vm} = Herzminutenvolumenquotient

v_m = Minutenvolumen

a = Ausgangspunkt der Geraden

b = Steigung der Geraden

r = Korrelationskoeffizient

Tabelle 5 = Leistungssportler

Tabelle 6 = Wenigtrainierte

Tabelle 7 = Untrainierte

Tabelle 5: Leistungssportler (7 Vpn.)

a_{rad} (m/sec)

a	=	7,9713
b	=	- 0,0040
Streuung um a	=	0,3635
Streuung um b	=	0
r^2	=	0,0827
r	=	- 0,2875

a_{Aorta} (m/sec)

a	=	5,67677
b	=	- 0,0002
Streuung um a	=	0,4297
Streuung um b	=	0
r^2	=	0,00002
r	=	- 0,0141

$\frac{p_s + p_d}{2}$ (mm Hg)

a	=	111,3
b	=	0,0285
Streuung um a	=	3,3398
Streuung um b	=	0,0223
r^2	=	0,0501
r	=	0,2238

Frequenz

a	=	62,4286
b	=	0,0648
Streuung um a	=	5,3658
Streuung um b	=	0,0387
r^2	=	0,0952
r	=	0,3085

V_s (ml)

a	=	102,8572
b	=	0,1264
Streuung um a	=	13,8031
Streuung um b	=	0,1004
r^2	=	0,0570
r	=	0,2387

Q_{vm}

a	=	1,1592
b	=	0,0034
Streuung um a	=	0,1170
Streuung um b	=	0
r^2	=	0,3883
r	=	0,6231 signifikant

V_m (L/min)

a	=	6,2564
b	=	0,0178
Streuung um a	=	1,2508
Streuung um b	=	0
r^2	=	0,1279
r	=	0,3576 signifikant

Tabelle 6: Wenigtrainierte (11 Vpn.)

a_{rad} (m/sec)

a	=	7,2972
b	=	- 0,0005
Streuung um a	=	0,417
Streuung um b	=	0
r ²	=	0,0008
r	=	0,0282

a_{Aorta} (m/sec)

a	=	5,8595
b	=	0,0007
Streuung um a	=	0,3940
Streuung um b	=	0
r ²	=	0,0014
r	=	0,0374

$\frac{p_s + p_d}{2}$ (mm Hg)

a	=	103,1363
b	=	0,0481
Streuung um a	=	4,4640
Streuung um b	=	0,0316
r ²	=	0,0494
r	=	0,2222

Frequenz

a	=	72,5454	
b	=	0,0729	
Streuung um a	=	4,4881	
Streuung um b	=	0,0316	
r^2	=	0,1053	
r	=	0,3244	signifikant

V_s (ml)

a	=	92,3182	
b	=	0,0725	
Streuung um a	=	11,16	
Streuung um b	=	0,0812	
r^2	=	0,0184	
r	=	0,1356	

Q_{vm}

a	=	1,120	
b	=	0,0036	
Streuung um a	=	0,1581	
Streuung um b	=	0	
r^2	=	0,1944	
r	=	0,4409	signifikant

V_m (L/min)

a	=	6,8004	
b	=	0,0114	
Streuung um a	=	0,9633	
Streuung um b	=	0	
r^2	=	0,0592	
r	=	0,2433	

Tabelle 7: Untrainierte (9 Vpn.)

a_{rad} (m/sec)

a	=	6,7689	
b	=	0,0080	
Streuung um a	=	0,3416	
Streuung um b	=	0	
r ²	=	0,2334	
r	=	0,4831	signifikant

a_{Aorta} (m/sec)

a	=	6,4572	
b	=	0,0059	
Streuung um a	=	0,5309	
Streuung um b	=	0	
r ²	=	0,0647	
r	=	0,2543	

$\frac{p_s + p_d}{2}$ (mm Hg)

a	=	117,6667	
b	=	0,0346	
Streuung um a	=	5,6109	
Streuung um b	=	0,0400	
r ²	=	0,0205	
r	=	0,1431	

Frequenz

a	=	82,1111
b	=	0,0808
Streuung um a	=	8,7387
Streuung um b	=	0,0632
r^2	=	0,04552
r	=	0,2121

V_s (ml)

a	=	102,7222
b	=	0,0813
Streuung um a	=	15,8083
Streuung um b	=	0,1153
r^2	=	0,0143
r	=	0,1195

Q_{vm}

a	=	0,9911
b	=	0,0120
Streuung um a	=	0,4912
Streuung um b	=	0
r^2	=	0,2478
r	=	0,4977 signifikant

V_m (L/min)

a	=	7,9478
b	=	0,0175
Streuung um a	=	1,4514
Streuung um b	=	0,0100
r^2	=	0,0742
r	=	0,2723

c) Statistische Auswertungen und Signifikanzen
der untersuchten Kreislaufgrößen bei den
drei Gruppen von Kreislauftrainierten

In den folgenden Diagrammen sind nur die errechneten Mittelwerte eingetragen, um diese nicht unübersichtlich zu gestalten. Die Streuungen um a und b (a = Ausgangspunkt der Geraden, b = Steigung der Geraden / Watt Belastung) sind in den Tabellen 5 - 7 der statistisch errechneten Größen aufgeführt. Dort finden sich auch die errechneten Signifikanzen der einzelnen Beziehungen. Bei allen Abbildungen (8 - 14) wurden folgende Kennzeichnungen verwendet:

————— = Leistungssportler (L)
----- = Wenigtrainierte (W)
- . - . - . - . - . - = Untrainierte (U)

1. Einfluß steigender Belastungen auf die
Pulsfrequenz

An dem dargestellten P u l s f r e q u e n z v e r -
h a l t e n (Abb. 8) der drei Gruppen fällt auf, daß
die untrainierten Vpn. den statistisch höchsten Ruhe-
wert von durchschnittlich 82 Schlägen/min haben. Die
Wenigtrainierten weisen einen Ausgangswert von 72 Schlä-
gen/min auf. Hingegen sind die Ruhewerte der Leistungs-
sportler mit 62 Schlägen/min die niedrigsten. Alle drei
Gruppen zeigen trotz unterschiedlicher Ausgangslage
einen nahezu gleich starken Anstieg der Pulsfrequenz
bei steigenden Belastungen.

2. Einfluß steigender Belastungen auf das Schlagvolumen

Die Darstellung der Änderungen des **S c h l a g v o l u - m e n s** (Abb. 9) zeigt, daß die Leistungssportler unter steigenden Belastungen den steilsten Anstieg des Schlagvolumens zu verzeichnen haben. Die Untrainierten weisen zwar den gleichen Ausgangswert auf wie die Trainierten, erreichen aber bei stärkster Belastung nicht den V_S -Wert der Trainierten.

Bei der Gruppe der Wenigtrainierten ist zu beachten, daß es sich um Personen handelt, die früher einmal Sport betrieben haben und immer noch eine gewisse Anpassung an körperliche Belastungen besitzen. Wie die Abb. 9 deutlich macht, wird bei dieser Gruppe die Steigerung des Herzminutenvolumens vornehmlich durch Frequenzerhöhung erreicht (Abb. 8).

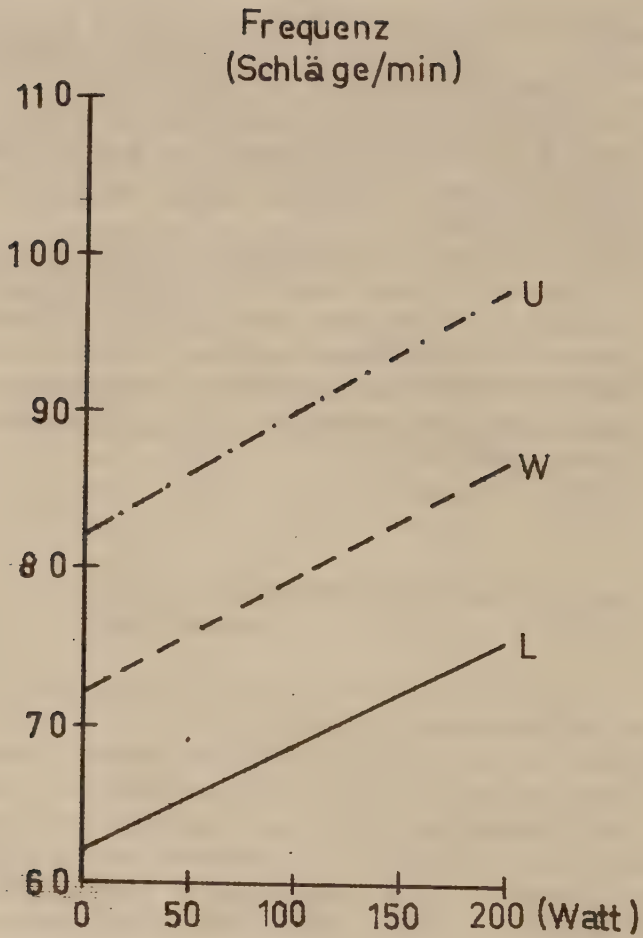


Abb. 8

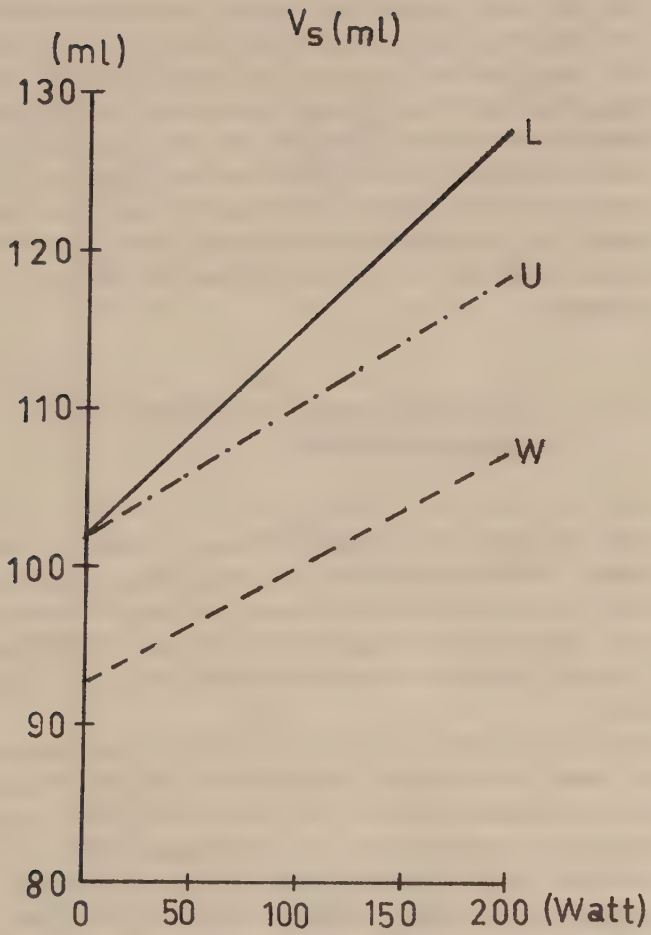


Abb. 9

3. Einfluß steigender Belastungen auf den Mitteldruck

Das Verhalten des M i t t e l d r u c k e s (Abb. 10) bei den drei Gruppen ist ebenfalls aufschlußreich. Die Leistungssportler weisen einen Ruhewert von 111 mm Hg auf. Der höchste Wert von 117 mm Hg wird bei 200 Watt Belastung erreicht. Dieser Höchstwert der Leistungssportler entspricht in etwa dem Ruheausgangswert der Untrainierten, deren Mitteldruck bei höchster Belastung auf 124 mm Hg ansteigt. Die Wenigtrainierten weisen hingegen den niedrigsten Ausgangswert von 103 mm Hg auf, zeigen aber den steilsten Anstieg der Geraden aller drei Gruppen.

4. Einfluß steigender Belastungen auf das Herzminutenvolumen

Das M i n u t e n v o l u m e n v e r h a l t e n der drei untersuchten Gruppen wird durch Abb. 11 veranschaulicht. Die Leistungssportler haben unter Ruhebedingungen das niedrigste Minutenvolumen, ein bekanntes Kennzeichen der oekonomischen Kreislaufumstellung. Bei Arbeitsbelastung steigt das Minutenvolumen rasch und ausgiebig an.

Die Untrainierten zeigen das höchste Herzminutenvolumen in Ruhe; der Anstieg entspricht in seiner Steilheit dem der Leistungssportler. Die Wenigtrainierten zeigen ein ähnliches Verhalten wie die Leistungssportler. Der Kurvenanstieg der Wenigtrainierten ist jedoch flacher im Vergleich zu den beiden anderen Gruppen. Zwar liegt der Ruheausgangswert etwas höher, aber bei höchster Belastung erreichen die Wenigtrainierten nur einen niedrigeren Wert gegenüber den Leistungssportlern.

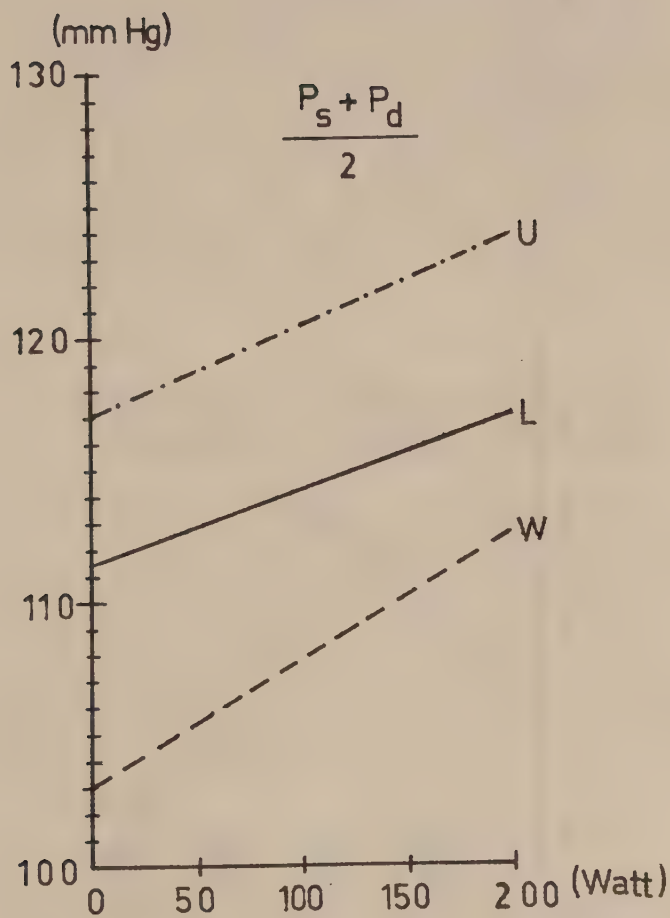


Abb. 10

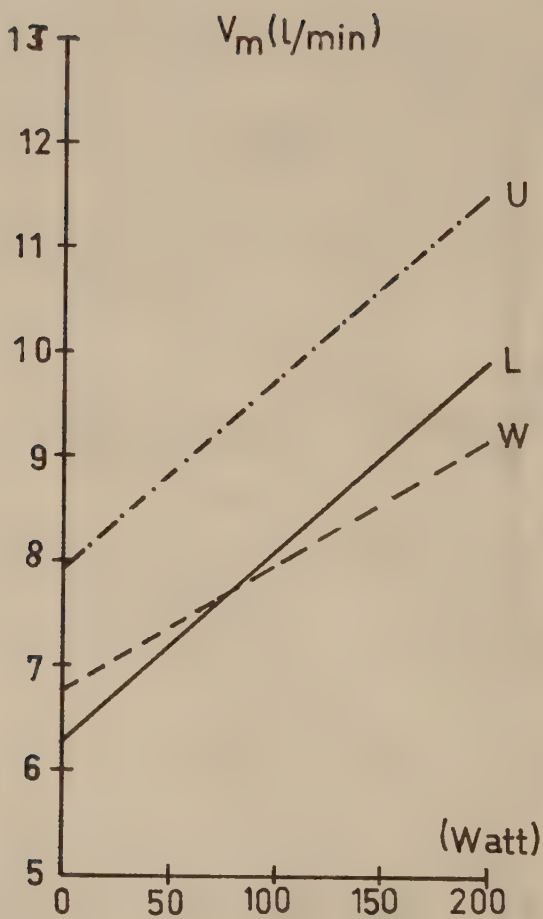


Abb. 11

5. Einfluß steigender Belastungen auf den Herzminutenvolumen-Quotient

Der H e r z m i n u t e n v o l u m e n q u o t i e n t (Q_{vm} -Wert) gibt die Änderung des Herzminutenvolumens unter Arbeitsbedingungen wieder. Dieser Wert wird berechnet aus den Blutdruckamplituden und den Pulsfrequenzen nach Belastung und in Ruhe. Das verschiedene Verhalten des Q_{vm} -Wertes (Abb. 12) zeigt deutlich, daß das Kollektiv der untrainierten Vpn. den höchsten Ausgangs- und Endwert aller Verläufe aufweist, wohingegen die Wenigtrainierten einen erheblich niedrigeren und die Leistungssportler, wie zu erwarten war, den niedrigsten Verlauf darboten.

6. Einfluß steigender Belastungen auf die Pulswellengeschwindigkeit in der Aorta

Der Verlauf der P u l s w e l l e n g e s c h w i n d i g - k e i t in der Aorta (Abb. 13) bei den drei untersuchten Gruppen erläutert die bemerkenswerte Tatsache, daß Leistungssportler und Wenigtrainierte keinen Anstieg dieser Kreislaufgrößen über alle Belastungsstufen aufweisen. Die Kurve der Pulswellengeschwindigkeit der untrainierten Vpn. steigt hingegen sehr steil an, ein Zeichen dafür, daß der Elastizitätsmodul der Aorta nur bei dieser Gruppe angestiegen, der Windkessel somit starrer geworden ist.

7. Einfluß steigender Belastungen auf die Puls- wellengeschwindigkeit in der Art. radialis

Das Verhalten der P u l s w e l l e n g e s c h w i n - d i g k e i t in der Art. radialis (Abb. 14) ist dem der Aorta gegenüber unterschiedlich. Alle drei Gruppen

zeigen ein sehr charakteristisches Verhalten, wenn man den Verlauf der Pulswellengeschwindigkeiten in der Aorta und in der Art. radialis zusammen betrachtet. Bei der Gruppe der Leistungssportler nimmt die Pulswellengeschwindigkeit mit steigender Belastung ab, wohingegen diese Größe der Wenigtrainierten einen entgegengesetzten Verlauf zeigt; sie steigt unter Arbeitsbedingungen an. Bei der Gruppe der untrainierten Vpn. läßt sich kein Anstieg der Pulswellengeschwindigkeit in der Radialis feststellen.

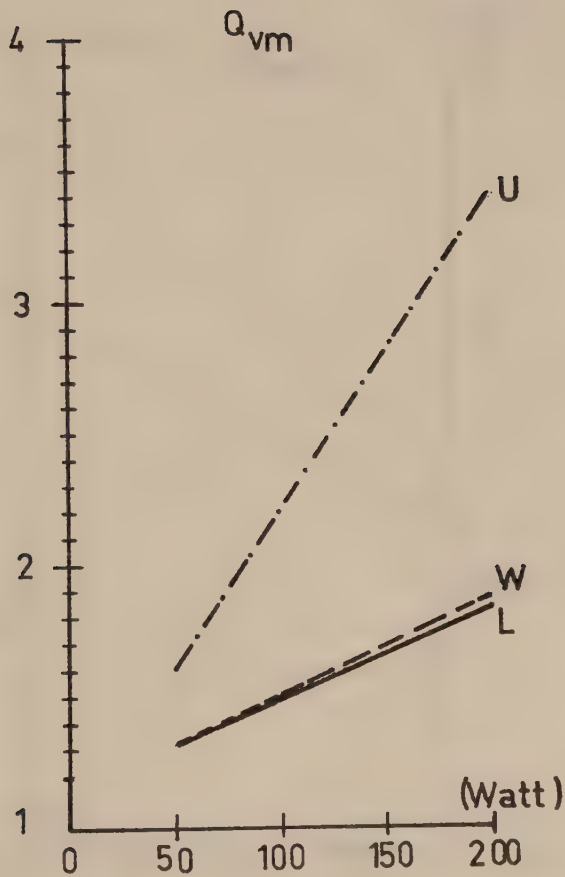


Abb. 12

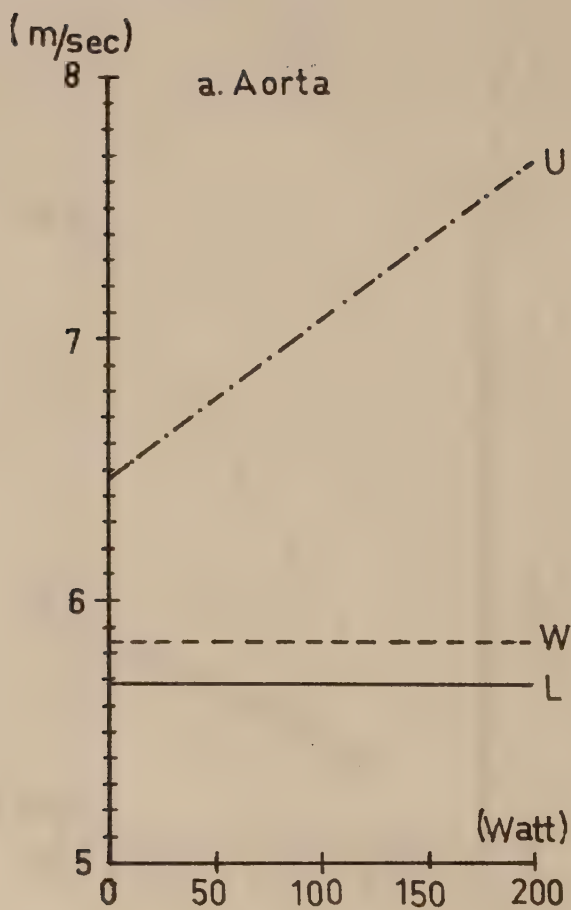


Abb. 13

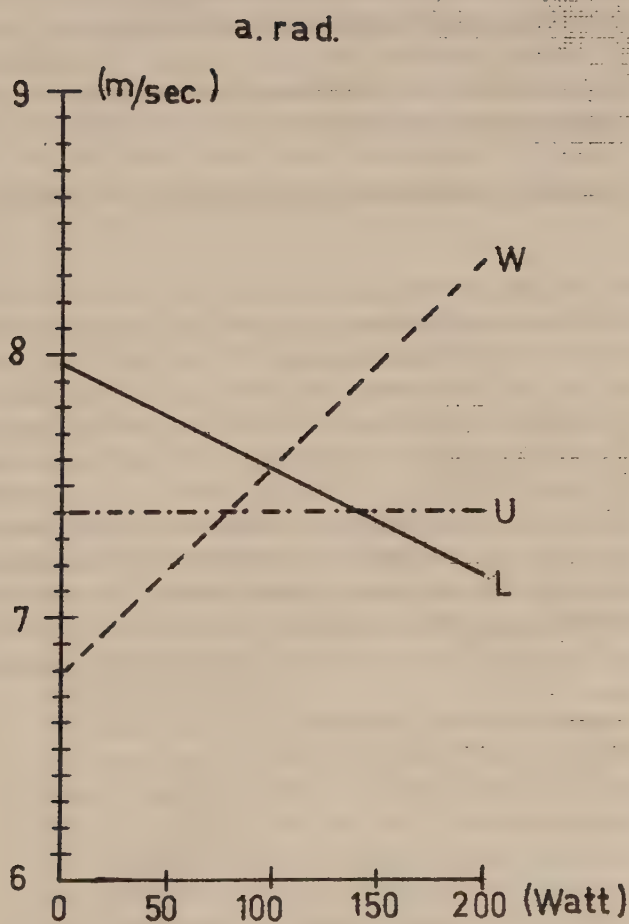


Abb. 14

d) Pulswellengeschwindigkeits-Quotient

Der P u l s w e l l e n g e s c h w i n d i g k e i t s -
q u o t i e n t gibt das Verhältnis der Pulswellenge-
schwindigkeiten in der Art. radialis zu der in der Aorta
an. Dieser Quotient wurde bei allen drei Gruppen in Ruhe
und bei maximaler Belastung aus den statistisch ermit-
telten Werten errechnet.

Tabelle 8: Pulswellengeschwindigkeits-Quotient $\frac{a_{\text{rad}}}{a_{\text{Aorta}}}$

A) Leistungssportler:	
a) in Ruhe 1,4	b) Belastung 1,25
B) Wenigtrainierte:	
a) in Ruhe 1,16	b) Belastung 1,42
C) Untrainierte:	
a) in Ruhe 1,15	b) Belastung 0,96

Den größten Zahlenwert in Ruhe weisen die Leistungssport-
ler auf. Die Gruppe der Untrainierten hingegen den nied-
rigsten. Bei Maximalbelastung nehmen die Zahlenwerte der
Leistungssportler und der Untrainierten ab;
der Quotient der Gruppe der Wenigtrainierten nimmt jedoch
zu.

D. Besprechung der Ergebnisse

I. Die Bedeutung der bestimmten und errechneten Kreislaufgrößen für die Beurteilung der Lei- stungs- und Anpassungsfähigkeit des Kreislaufes:

Die physikalisch faßbaren Prozesse innerhalb des Kreislaufes sind durch eine Vielzahl von Faktoren bedingt, so daß es nur unter sehr engen methodischen Voraussetzungen gelingt, die Wirkung eines Faktors auf den Gesamtkreislauf zu erfassen.

Die Häufigkeit der Pulsschläge oder die Pulsfrequenz hat von jeher dazu gedient, die Kreislaufanpassungsfähigkeit der Kranken zu beurteilen. Es war ein langer Weg zurückzulegen, bis es O. FRANK im Jahre 1904 zum ersten Male gelang, druckproportionale Pulskurven zu registrieren, aus denen Daten für die Beurteilung wichtiger Kreislaufgrößen zu entnehmen waren. Nach Versuchen von H. WEBER gelang es bekanntlich O. FRANK zum ersten Male, eine Theorie über das Zusammenwirken meßbarer Kreislauffaktoren aufzustellen, ebenso eine Formel über die Berechnung des Schlagvolumens aus verschiedenen Kreislaufdaten abzuleiten.

a) Pulsfrequenz

An Versuchen, das Verhalten der Pulsfrequenz als der wichtigsten Kreislaufgröße unter körperlichen Belastungen zu deuten, hat es nach O. FRANK und seiner Schule nicht gefehlt. Hier wären die Arbeiten von CHRISTENSEN (8), SPOHR (16), KUHN (10), E.A. MÜLLER (12) u.a. zu erwähnen. Diese Untersuchungen, besonders die systematischen von E.A. MÜLLER, hatten ergeben, daß die Pulsfrequenz unter Arbeitsbedingungen bei den einzelnen Vpn. unterschiedliche Steigerungen aufweisen kann. STEGEMANN (17) wies kürzlich darauf hin, daß die Pulsfrequenz infolge

körperlicher Belastung bei steigendem aeroben Muskelstoffwechsel proportional ansteigt. Diese Beziehung erklärt, warum die Pulsfrequenz als ein einfaches Maß der Leistungsfähigkeit des Kreislaufes gelten kann. Die vorliegenden Versuche sollten u.a. die Frage klären, in welcher Weise die Pulsfrequenzsteigerung unter dosierter Belastung den Trainingsgrad der Vpn. erkennen läßt.

Wie unsere Untersuchungen ergeben haben, läßt der Trainingsgrad sich schon an der Ruhefrequenz ablesen. Volltrainierte Vpn. hatten eine niedrige Pulsfrequenz (ca. 60 Pulse/min), wenig Trainierte eine durchschnittliche Frequenz von 72 Schlägen/min, Untrainierte lagen bei 82 Schlägen/min. Diese Differenzen der Ruhepulsfrequenz lassen sich nicht durch eine Erregung vor der Belastung erklären, denn diese war für alle nahezu die gleiche.

Die Steilheit des Anstiegs der Pulsfrequenz bei quantitativer Belastung war bei allen Gruppen dieselbe. Dies bedeutet also, daß die Volltrainierten einen hohen, die Wenigtrainierten einen mittleren und die Untrainierten einen niedrigen Wirkungsgrad ihrer Muskeltätigkeit aufweisen, denn die Arbeit, die alle drei Gruppen zu leisten hatten, war immer die gleiche. Es läßt sich weiter aus unseren Kurven (Abb. 8) ablesen, daß wegen der direkten Proportionalität und gleichen Steigerung bei allen drei Gruppen ein aerober Muskelstoffwechsel vorgelegen haben dürfte, denn bei anaerobem Stoffwechsel wäre diese Proportionalität nicht mehr aufrecht erhalten worden. Die direkte Proportionalität bestätigt außerdem die JOHANNSON'sche Regel, nach welcher der Wirkungsgrad bei einer Arbeitssteigerung mit Pulsanstieg konstant bleibt, wenn dieselbe Muskelgruppe bei der Arbeit beteiligt bleibt.

b) Schlagvolumen

Nach STOLLREITER (18) ist aus der Größe des Schlagvolumens in Ruhe nur mit Einschränkung, dagegen nach Belastung durch Muskelarbeit stets ein wichtiger Aufschluß über die zentrale Regulation der Kreislaufleistung zu gewinnen. Da aber für die Durchblutung des Gesamtorganismus, von der die Muskeldurchblutung nur eine Komponente, allerdings unter körperlicher Belastung eine sehr wichtige darstellt, das Herzminutenvolumen die entscheidende Größe ist, erscheint es verständlich, daß nicht nur die Pulsfrequenz, sondern auch die Größe des Schlagvolumens an der Kreislaufleistung unter Arbeitsbedingungen eine Rolle spielt.

Prinzipiell stehen dem Organismus zwei Möglichkeiten zur Verfügung, den Transport einer ausreichenden Blutmenge unter Arbeitsbedingungen aufrecht zu erhalten:

1. durch Steigerung der Herzfrequenz und
2. durch Erhöhung des Schlagvolumens.

Die letztere Möglichkeit stellt die ökonomischere Form der Anpassung des Kreislaufes an körperliche Arbeit dar, und zwar deshalb, weil Volumenarbeit des Herzens mit dem höchsten Wirkungsgrad des Herzens einhergeht.

Bei den durchgeführten Versuchen ergab sich für die Gruppe der Leistungssportler ein Schlagvolumen in Ruhe von etwa 100 ml. Die Zunahme des Schlagvolumens bei dieser Gruppe ist unter Belastung deutlich feststellbar. Nach den Untersuchungen von REINDELL und DELIUS (13) wird diese Schlagvolumenzunahme durch

die "regulative Dilatation" des Herzens ermöglicht und findet sich nur bei Volltrainierten. Der oben genannte Ruhedurchschnittswert von etwa 100 ml bei Volltrainierten wurde übrigens von SCHNEIDER (15) im Jahre 1964 mit Hilfe der Farbstoffverdünnungsmethode ebenfalls gefunden. Die Wenig- und Untrainierten weisen ebenfalls eine Zunahme des Schlagvolumens bei Belastung auf, jedoch in weniger ausgeprägtem Maße als die Volltrainierten.

c) und d) Mitteldruck und Herzminutenvolumen

Das Verhalten des Mitteldruckes p_m und des Herzminutenvolumens V_m kann wegen der physikalischen Gesetzmäßigkeiten des Kreislaufes, nach denen V_m , p_m und der periphere Widerstand W voneinander in Abhängigkeit stehen, diskutiert werden.

Wie unsere Versuche ergeben haben, ist der Anstieg des Mitteldruckes bei der Gruppe der Wenigtrainierten ausgeprägter als bei den anderen beiden Gruppen. Ein starker Anstieg des Mitteldruckes bei relativ geringer Zunahme des Herzminutenvolumens ist Zeichen einer Zunahme des gesamten peripheren Widerstandes. Wie aus Abb. 10 ersichtlich, weist die Gruppe der Leistungssportler den geringsten Anstieg des Mitteldruckes auf, wohl aber den steilsten Anstieg des Herzminutenvolumens (Abb. 11). Ein niedriger Wert des Herzminutenvolumens in Ruhe kann demnach als Zeichen des gut trainierten Leistungssportlers gelten. Die Untrainierten hingegen weisen schon in Ruhe den höchsten Mitteldruck auf, der bei steigender Belastung weiter zunimmt. Die Zunahme des Herzminutenvolumens ist jedoch bei dieser Gruppe ebenfalls beträchtlich. Dies ist nur möglich bei Abnahme des peripheren Widerstandes. Bei den Wenig-

trainierten fällt auf, daß sie hinsichtlich des Verhaltens ihres V_m unter Arbeitsbedingungen den Leistungssportlern sehr nahe kommen. Doch ist der Mitteldruck dieser Gruppe in Ruhe sowohl wie bei Belastung am niedrigsten. Lediglich unter Arbeit steigt der Mitteldruck dieser Vpn. etwas stärker an, erklärlich aus der relativ niedrigen V_m -Zunahme unter Belastung gegenüber der der Leistungssportler. Bei dieser Gruppe muß also mit einem verhältnismäßig hohen peripherem Widerstand gerechnet werden.

e) Herzminutenvolumen-Quotient

Die Bestimmung des Herzminutenvolumenquotienten nach BLASIUS (2) stellt eine relativ einfache Methode zur Prüfung der Kreislaufleistung unter Arbeitsbedingungen dar. Dieser Quotient kann als Maß für die Änderung des Herzminutenvolumens bei körperlicher Arbeit gelten.

Bei den von uns durchgeführten Versuchen konnten wir folgende Feststellung treffen:

Die Q_{vm} -Werte der Leistungssportler und der Wenigtrainierten liegen bei einer Belastung von 50 Watt im Durchschnitt bei 1,3. Unter steigender Belastung nimmt dieser Wert linear zu und erreicht bei einer Belastung von 200 Watt einen Wert von durchschnittlich 1,85. Die Wenigtrainierten zeigen eine nur geringe Abweichung von diesem Wert der Leistungssportler.

Ein völlig abweichendes Verhalten hinsichtlich der Veränderungen des Q_{vm} -Wertes unter steigenden Belastungen weisen die Untrainierten auf. Unter Belastung von 50 Watt liegt der Q_{vm} -Wert bei 1,6, hingegen bei 200 Watt ist dieser erheblich gestiegen, und zwar auf 3,4. Diese Verhältnisse sind statistisch durch eine große Signifikanz gesichert und beweisen

gleichzeitig, daß die Untrainierten an körperliche Arbeit nicht angepaßt sind. Die Bestimmung des Q_{vm} -Wertes erlaubt also ein Urteil über die Anpassungsfähigkeit des Organismus an körperliche Belastung.

f) und g) Pulswellengeschwindigkeit in der Aorta und Pulswellengeschwindigkeit in der Art. radialis

Die Kenntnis der im elastischen wie im muskulären Arterienrohr gemessenen Pulswellengeschwindigkeiten verschafft nach STOLLREITER (18) einen Einblick in die vegetative Kreislaufsteuerung; beide Werte gehen bei Regulationsstörungen nach Belastung weder sofort, noch in der Erholungsphase mit dem Blutdruck parallel und können sogar paradoxe Reaktionen zeigen.

Aus den grundlegenden Arbeiten von WEZLER und BÖGER (20) ist zu entnehmen, daß der Tonus der glatten Muskulatur einen bestimmenden Einfluß auf die Steilheit hat, mit der die Wellengeschwindigkeit mit dem Druck zunimmt. Die Autoren stellen weiterhin fest, daß bei Fortschreiten der Pulswelle in die Peripherie die Wellengeschwindigkeit in Folge der Zunahme des Elastizitätsmoduls der Gefäße ansteigt. Die Schwanungsbreite der Pulswellengeschwindigkeit ist nach WEZLER und BÖGER (20) beim muskulären Arterientyp am größten. Diese Gesetzmäßigkeiten sind, wie SCHIMMLER (14) feststellte, nicht von Körpergewicht und Konstitution, sondern nur von der morphologischen Struktur der Gefäße abhängig.

Aufgrund der vorliegenden Versuchsergebnisse läßt sich zeigen, daß alle drei Gruppen von V_{pn} ein kennzeichnendes Verhalten der Pulswellengeschwindigkeit, sowohl der Aorta, als auch der Art. radialis, aufweisen. Wie aus Abb. 13 hervorgeht, ist der

Anstieg der Pulswellengeschwindigkeit in der Aorta unter Belastung bei der Gruppe der Untrainierten beträchtlich, wohingegen Leistungssportler und Wenigtrainierte eine Konstanz dieser Größe über alle Belastungen aufweisen. Der ausgeprägte Anstieg unter Arbeitsbedingungen bei der Gruppe der Untrainierten läßt somit auf eine mangelnde Windkesselfunktion und auf eine Versteifung des elastischen Aortenrohres bei dieser Gruppe schließen, ein weiteres Zeichen, daß der Kreislauf nicht an körperliche Belastungen angepaßt ist. Ein anderes Verhalten der Pulswellengeschwindigkeit in der Aorta weisen die Gruppen der Wenigtrainierten und Leistungssportler auf. Sie imponieren durch eine Konstanz der Pulswellengeschwindigkeiten über die gesamte Serie der Belastungsversuche hinweg, ein Zeichen für die vorhandene Anpassungsfähigkeit des Kreislaufes an körperliche Belastungen. Aus Abb. 13 geht hervor, daß die Pulswellengeschwindigkeit in der Aorta schon allein ein Maß für die Anpassungsfähigkeit des Kreislaufes an körperliche Belastung darstellt. Durch die Hinzunahme der Verhältnisse in den peripheren Gefäßen werden die Gesetzmäßigkeiten verdeutlicht.

Aus Abb. 14 ist zu entnehmen, daß die periphere Pulswellengeschwindigkeit der drei Gruppen von Vpn. sich wesentlich vom Verhalten der zentralen Pulswellengeschwindigkeit unterscheidet. Zeigten die Wenigtrainierten und die Leistungssportler eine Konstanz der Wellengeschwindigkeit unter steigenden Belastungen (Abb. 13), so fällt in Abb. 14 auf, daß diese Gruppen von Vpn. unter steigenden Belastungen hinsichtlich ihres Verhaltens der Pulswellengeschwindigkeit in der Art. radialis anders reagieren. Bei der Gruppe der Leistungssportler sinkt der Wert der Pulswellengeschwindigkeit unter Belastung

von knapp 8 m/sec in Ruhe auf rund 7,2 m/sec bei 200 Watt Belastung. Dies kann als Zeichen einer peripheren Widerstandserniedrigung bei körperlicher Belastung und somit guter Regulationsfähigkeit des Kreislaufes gewertet werden.

Bei der Gruppe der Wenigtrainierten, die sich kaum im Verhalten der Wellengeschwindigkeit in der Aorta von der Gruppe der Leistungssportler unterschied, ist im Gegensatz zu der Gruppe der Leistungssportler (Abb. 14) ein ausgeprägter Anstieg der Pulswellengeschwindigkeit in der Radialis festzustellen. Dieser Anstieg bedeutet bei gleichzeitig statthabendem Anstieg des Mitteldruckes (Abb. 10) und des Herzminutenvolumens (Abb. 11) eine Erniedrigung des peripheren Widerstandes. Die Gruppe der Untrainierten weist keinerlei Änderung der Pulswellengeschwindigkeit unter Arbeitsbedingungen in der Art. radialis auf. Diese Tatsache konnte statistisch signifikant gesichert werden. Der ausgeprägte Anstieg der Pulswellengeschwindigkeit (Abb. 13), so wie die Konstanz der Pulswellengeschwindigkeit in der Peripherie (Abb. 14) macht deutlich, daß dieser Gruppe der Untrainierten die Möglichkeit einer ausreichenden Regulation des peripheren Widerstandes bei körperlicher Arbeit offensichtlich fehlt.

II. Die Bedeutung des Pulswellengeschwindigkeits-Quotienten

Der Pulswellengeschwindigkeits-Quotient gibt das Verhältnis der Pulswellengeschwindigkeiten in der Art. radialis zu der in der Aorta an. Dieser Quotient kann einen Hinweis auf den Elastizitätsmodul in den elastischen wie muskulären Arterien geben. Die Gruppe der Leistungssportler (Tab. 8) weist einen hohen Quotientenwert in Ruhe auf. Bei Belastung wird dieser Quotient kleiner, bedingt durch

einen Abfall der Pulswellengeschwindigkeit in der Radialis bei gleichbleibendem Wert in der Aorta. Dies bedeutet also, daß der Elastizitätsmodul nur der peripheren Gefäße abgenommen hat. Der Quotient der Wenigtrainierten hingegen steigt unter Arbeitsbedingungen an, mithin wird der Elastizitätsmodul der peripheren Gefäße erhöht, während dieser in der Aorta konstant bleibt. Die Gruppe der Untrainierten weist den niedrigsten Ruhequotientenwert aller drei Gruppen auf, und bei Belastung sogar einen Wert unter 1, ein Beweis dafür, daß die Pulswellengeschwindigkeit in der Aorta höher ist als in der Radialis. Dies dürfte als ein Kennzeichen für eine mangelnde Windkesselfunktion der Aorta unter Arbeitsbedingungen angesehen werden können.

Aus den dargestellten Verhältnissen ist zu entnehmen, daß von den verschiedenen Kreislaufgrößen auch die Pulswellengeschwindigkeit und deren Quotienten-Wert geeignet erscheinen, die Anpassungsfähigkeit des Kreislaufes und somit des Organismus an körperliche Belastung zu beurteilen.

F. Zusammenfassung

Physikalische Kreislaufanalysen unter abgestufter Belastung am Ergometer von 50, 100, 150 und 200 Watt bei konstanter Frequenz von 50 Umdrehungen pro Minute wurden an 27 Vpn. durchgeführt. Folgende Kreislaufgrößen wurden bestimmt und errechnet: Pulsfrequenz, Schlagvolumen, Mitteldruck, Herzminutenvolumen, Herzminutenvolumenquotient, Pulswellengeschwindigkeit in der Aorta und Pulswellengeschwindigkeit in der Art. radialis.

Die Vpn. konnten nach ihrem Trainingszustand in folgende Gruppen aufgeteilt werden: Leistungssportler (7), Wenigtrainierte (11) und Untrainierte (9).

Aus den vorliegenden Untersuchungen geht hervor, daß die Leistungssportler an körperliche Belastung besonders gut angepaßt waren. Diese Anpassung kam in der Zunahme des Schlagvolumens bei geringem Anstieg der Pulsfrequenz und geringer Erhöhung des Mitteldruckes, nahezu konstantem Q_{vm} -Wert und Abfall der Pulswellengeschwindigkeit in der Art. radialis zum Ausdruck.

Die Wenigtrainierten zeigten vornehmlich eine Steigerung der Pulsfrequenz, eine nur geringe Zunahme des Schlagvolumens, eine vermehrte Zunahme des Mitteldruckes und einen Anstieg der Pulswellengeschwindigkeit in der Art. radialis.

Die Gruppe der Untrainierten fiel durch eine hohe Ruhepulsfrequenz auf, ferner durch einen erhöhten Mitteldruck während der Belastungsversuche, eine sehr ausgeprägte Zunahme des Q_{vm} -Wertes und eine beträchtliche Steigerung der Pulswellengeschwindigkeit in der Aorta.

Aus den statistisch errechneten Mittelwerten wurden die Pulswellengeschwindigkeitsquotienten bei allen drei

Gruppen von Vpn. sowohl in Ruhe, als auch bei Maximalbelastung gebildet.

Die Beziehungen zwischen den untersuchten Kreislaufgrößen und den quantitativen Belastungen wurden mit Hilfe von Regressionsanalysen statistisch ausgewertet.

Die Q_{vm} -Änderungen wiesen bei allen drei Gruppen die größte Signifikanz auf. Dies bedeutet, daß die Q_{vm} -Bestimmung für die Beurteilung der Leistungs- und Anpassungsfähigkeit des Kreislaufes außerordentlich aussagekräftig ist.

Ferner waren noch folgende Kreislaufgrößen signifikant verändert: das Herzminutenvolumen der Leistungssportler, die Pulsfrequenz der Wenigtrainierten und die Pulswellengeschwindigkeit der Untrainierten in der Art. radialis.

Die Ergebnisse werden im Zusammenhang mit denen der Literatur diskutiert.

F. Literaturverzeichnis

1. BIERHAUS, H.
Chirurgie und Kreislauf.
Wissenschaftliche Verlagsanstalt, Stuttgart 1949
2. BLASIUS, W.
Arch. Kreisl.-Forsch. 12 (1943) 48-72
3. BLASIUS, W.
Klin. Wschr. 27 (1949) 84-87
4. BLASIUS, W.
Pflügers Arch. ges. Physiol. 260 (1954) 137-140
5. BLASIUS, W.
Verh. dtsh. Ges. Kreisl.-Forsch. 23 (1957) 401-404
6. BLASIUS, W.
Münch. med. Wschr. 96 (1954) 775-778
7. BROEMSER, Ph., RANKE, O.F.
Z. Biol. 90 (1930) 467-508
8. CHRISTENSEN, E.H.
Arbeitsphysiologie 4 (1931) 453-470
9. FRANK, O.
Z. Biol. 90 (1930) 405-409
10. KUHN, D.
zit. nach SPOHR, O., LAMPERT, H.
Münch. med. Wschr. 77 (1930) 430
11. MEISSNER, F.
Dtsch. med. Wschr. 75 (1950) 1051
12. MÜLLER, E.A.
In: LANDOIS-ROSEMANN, Lehrbuch der Physiologie des Menschen., Bd. II., Aufl. 28
Urban & Schwarzenberg, München-Berlin 1962, S. 498
13. REINDELL, H., DELIUS, L.
Dtsch. Arch. klin. Med. 193 (1952) 639
14. SCHIMMLER,
Arch. Kreisl.-Forsch., 53 (1967) 146-159
15. SCHNEIDER, K.W., RIEDER, E., LÖSEL, E., WIRSCHING, W.
Verh. dtsh. Ges. inn. Med. 79 (1964) 140
16. SPOHR, O., LAMPERT, H.
Münch. med. Wschr. 77 (1930) 430

17. STEGEMANN, J.
In: KEIDEL, Kurzgefaßtes Lehrbuch der Physiologie.
Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1970, S. 301
18. STOLLREITER, H.
Arch. Kreisl.-Forsch. 16 (1950) 174-270
19. WETTERER, E.
Z. Biol. 100 (1940) 260-314
20. WEZLER, K., BÖGER, A.
Ergebn. Physiol. 41 (1939) 292-606
21. Wissenschaftliche Tabellen "Documenta Geigy", 7. Aufl.
Nov. 1968

Herrn Professor Dr. med. W. BLASIUS möchte ich an dieser Stelle für die Überlassung des Themas, für die Hilfe bei der Durchführung der Versuche und für die wertvollen Anregungen herzlich danken. Ferner gilt mein Dank Herrn Privatdozent Dipl.-Math. Dr. med. REPGES für die Hilfe bei den math.-statistischen Auswertungen der Versuche.

L e b e n s l a u f

Am 25. Juni 1942 wurde ich als Sohn der Eheleute Ernst und Gertrud Busse geb. Ostmann in Braunschweig geboren. Von 1949 bis 1954 besuchte ich die Grundschule in Braunschweig-Rühme. Anschließend absolvierte ich die Hoffmann-von-Fallersleben-Schule, Gymnasium für Jungen und Mädchen, in Braunschweig. Im Frühjahr 1963 bestand ich die Reifeprüfung. Nach bestandenem Abitur entschied ich mich für den Beruf des Diplom-Bauingenieurs. Einem Praktikum von 6 Monaten folgte ein Semester an der Technischen Hochschule Carolo-Wilhelmina in Braunschweig. Da dieses Studium jedoch nicht meinen Neigungen entsprach, widmete ich mich dem Studium der Medizin. Im Sommer-Semester 1964 begann meine Ausbildung an der Justus-Liebig-Universität in Giessen. Im Frühjahr 1967 legte ich die ärztliche Vorprüfung ab. Zur Zeit befinde ich mich im 6. klinischen Semester und habe seit Winter-Semester 1967 an der Abteilung für Angewandte Physiologie bei Prof. Blasius experimentell-cardiologische Studien betrieben, die ich nunmehr in einer Dissertation vorlege.

